



A felső-magyarországi Duna élőhelyszempontú hidrodinamikai vizsgálata

Habitat based hydrodynamic investigation of the Upper-Hungarian Danube River

Füstös V.¹, Baranya S.¹, Fleit G.¹, Erős T.², Szalóky Z.², Tóth B.³, Józsa J.¹

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

²Magyar Tudományos Akadémia, Ökológiai Kutatóközpont

³Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság

Kulcsszavak: ökohidraulika, számítógépes szimuláció, élőhely-megfelelőségi mutató

Keywords: ecohydraulics, computational fluid dynamics, habitat suitability index

Abstract

Ecohydraulics or habitat-based hydraulics positioned on the boundary of ecology and hydraulics, aims to seek relations between biotic and abiotic parameters of the aquatic environment. The main purpose of the discipline is the quantification of the connections among hydro-morphologic variables and the occurrence and quantity of aquatic flora and/or fauna. In this research we present the utility of two-dimensional hydro-dynamical computation for habitat evaluation on long river reaches, by performing a simulation-based habitat suitability analysis of three domestic fish species (the Danube streber, the round goby and the white bream) on the Upper-Hungarian reach of the River Danube between Sap and Szob.

Kivonat

Az ökohidraulika vagy élőhely-hidraulika az ökológia és a hidraulika határán elhelyezkedve, a vízi környezetben élő és élettelen, mászóval biotikus és abiotikus paraméterek között keres összefüggéseket. A tudományterület fő célja a hidromorfológiai változók és a vízi élőlények térbeli előfordulása és mennyiségi viszonyai közötti kapcsolatok minél hatékonyabb számszerűsítése. Kutatásunkban bemutatjuk, hogyan alkalmazhatók kétdimenziós hidrodinamikai számítógépes modellek hosszú folyószakaszok élőhely szempontú vizsgálatára. Munkánk során három hazai halfaj, a német bucó, a kerekfejű géb és a karikakeszeg számítógépes szimulációra alapozott élőhely-megfelelőségi elemzését végezzük el a Duna felső-magyarországi, Szap és Szob közé eső szakaszára.

Bevezetés

A vízépítés az öntözés szükségletének révén már az ókori mezopotámiai időktől fogva kíséri az emberiséget (Mays 2008). Ekkora időtávlatot felölelve kijelenthető, hogy gyakorlatilag a jelenkorig nem volt jellemző szempont a vízi élővilág, az élőhelyek épsége, folytonossága. A folyami élőhelyek állapotát és átjárhatóságát javító első beavatkozásokat a keresztirányú elzárások káros ökológiai hatását részben kiküszöbölő halátjárók létesítése jelentette. Az utóbbi 20-30 évben egyre több cikk, tanulmány, kutatás jelent meg az ökohidraulika, egy új diszciplína témakörében. A tudományterület fő célja a hidromorfológiai változók és a vízi élőlények térbeli előfordulása és mennyiségi viszonyai közötti kapcsolatok minél hatékonyabb számszerűsítése. Az ökohidraulika a hidrológiai ismeretek birtokában tesz javaslatokat a vizek ökológiai állapotának javítására. A 2000-es évek elején szinte a világ minden táján érvénybe léptek vízvédelmi, ökológiai célokat megfogalmazó irányelvek (Maddock et al. 2013) – hazai vonatkozásban pl. az Európai Unió Víz Keretirányelve és a Duna Stratégia –, melyek különösen indokoltá teszik az ökohidrológiai ismeretek alkalmazását a restaurációs beavatkozásoknál.

Az élőhelyjellemzés egy gyakori, vízépítési beavatkozások hatásvizsgálatára is alkalmas eszköz az ökohidraulikában. Terepi adatgyűjtés, kisminta-modellezés és számítógépes szimuláció egyaránt eszköze lehet, illetve pontszerű és nagyobb területi léptéken is végezhető. A lépték alapján megkülönböztethetünk két létező, kidolgozott irányzatot.

Az ún. mezohabitat-eljárás során néhány előre meghatározott hidraulikai paraméteren keresztül jellemzik az élőhelyet hidromorfológiai szempontból, és azt előre definiált mezohabitat-kategóriákba (medence, gázló stb.) sorolják (pl. Hauer 2008, Hauer 2011). Ilyen abiotikus paraméterek leggyakrabban a vízmélység, az áramlási sebesség és az aljzat összetétele – ezek mérése napjainkban már rutin mérnöki feladat, és e változókra rendszerint az élőlények is jó választ mutatnak. Ezután a mezohabitat-típusokra becsülik az egyes élőlények, gyakran halfajok mennyiségét. A mezoélőhely-típusok területi eloszlásának és az egyes fajok mezohabitat-típusokra becsült mennyiségi viszonyainak jellemzésével meghatározható az ún. habitat suitability index (SI), azaz az élőhely-megfelelőségi mutató. Az index 0 és 1 közötti értéket vehet fel és leírja, hogy mennyire „preferálja” vagy kerüli a vizsgált faj az adott mezoélőhely-típust (minél közelebb áll az 1-hez, annál megfelelőbb az élőhelytípus a faj számára). Ezzel a módszerrel tehát nagyobb léptéken, a fentebb említett mezohabitat-osztályokra definiálhatunk egy-egy preferenciaértéket.

A mikrohabitat-leírás során pontszerű mintavétel alapján történik az értékelés. Egyidejűleg vesznek biotikus mintát, valamint feljegyeznek bizonyos hidromorfológiai paramétereket, ezután pedig statisztikai analízisnek vetik alá az adathalmazt, és kapcsolatot keresnek az élettelen paraméterek és a begyűjtött egyedek mennyisége között. Ilyenformán az egyes paraméterek mikroélőhely-léptékben rögzített értékeire adódik egy-egy SI érték, mely ez esetben annál nagyobb, minél több egyedet sikerült az adott körülmények között (pl. 50-60 cm-es vízmélységben) gyűjteni. Ez aztán az egyes paraméterek függvényében grafikusán is ábrázolható, a függvényre esetleg egyenlet illeszthető, előállítható az ún. SI görbe vagy preferenciagörbe (suitability curves) (Aadland & Kuitunen 2006), ami leginkább egy tűrőképességi görbéhez hasonlatos jelentéstartalommal bír (ugyanakkor egy SI függvény mindig csak egy pillanatkép eredménye és lokálisan értelmezendő). Az eltérés a mezohabitat-eljárástól tehát az, hogy nem előre meghatározott élőhelytípusokra adódnak SI értékek, hanem az egyes paraméterek adott értékeire.

A mezo- és mikro- előtagok utalnak az eljárás léptékére, ugyanakkor bármely módszerrel határozunk meg SI értékeket vagy görbéket, azok mezőszerte is ábrázolhatók, élőhely-megfelelőségi térképeket eredményezve (Baranya et al. 2018). Az eljárások, léptékek közötti rés áthidalása, avagy a mikrolépték megbízható felskálázása egy megoldásra váró kihívás (Harby et al. 2017), addig is a két módszer kombinációja igen hatékony lehet a nagyméretű folyószakaszokon (Habersack et al. 2014).

A megbízható kiindulási adatok megléte kiemelten fontos és két részre, abiotikus és biotikus adathalmazra oszlik. Előbbihez a hidromorfológiai, vízminőségi adatok tartoznak, míg utóbbi a vízi élőlények (gyakran halfajok) előfordulását, eloszlását jelenti. Az adatrögzítés jellemzően terepi mérés során történik, melyben egyre növekvő hatékonysággal szerepel a távérzékelés (hidromorfológia: Knehtl et al. 2018, halabundancia: Ban et al. 2013). Utóbbi, azaz a halösszetétel mintázásának módszereihez a fentebbin túl a klasszikus és az elektromos halászat eszközei tartoznak, összetett esetekben e kettő kombinációját javasolja Zajicek és Wolter (2018). Erős és mtsi. (2008) összefüggést állapítottak meg a kimutatott fajszám és 1) a mérési helyszínnek száma, 2) a gyűjtött egyedek darabszáma között. Mindkét görbe egyre csökkenő ütemben emelkedik, azaz kijelölhető egy optimális mintavételi erőfeszítés.

Jelen kutatás Baranya és mtsi. (2018) élőhely-térképező módszerét adaptálta, amelyben a Duna alsógödi szakaszán a különböző vízjárási állapotokban kialakuló vízi élőhelyet jellemezték két hazai halfaj, a német bucó (*Zingel streber*) és a kerekfejű géb (*Neogobius melanostomus*) szempontjából. Az értékelés alapjául szolgáló hidromorfológiai paraméterezőket (vízmélység, mélységátlagolt áramlási sebesség és mederanyag) terepi mérésekkel igazolt háromdimenziós (3D) hidrodinamikai szimulációval állították elő, amely azonban előkészítés- és számításgénye miatt csak kis területen alkalmazható gazdaságosan; felmerül így a kérdés, hogy a vizsgálható terület növelése érdekében egyszerűsíthetünk-e kétdimenziós (2D), mélységátlagolt modellezésre, és amennyiben igen, milyen feltételek mellett. Korábbi összehasonlítások azt mutatták, hogy a 3D számítás jellegéből adódóan megbízhatóbban reprodukálja a fenékközeli áramlási viszonyokat, ugyanakkor a 2D modellhez adott bizonyos korrekciós tényezőkkel számottevően csökkenthető az eltérés a két megközelítés között (Lane et al. 1999, Huybrechts et al. 2010, Kasvi et al. 2014, Lauchlan

Arrowsmith et al. 2014). Glock és mtsi. (2019) kutatásukban többek között megmutatták, hogy a fenék-csúsztatófeszültséget (az áramló víztömeg és a mederfenék közti, nyírófeszültséggel kifejezett kölcsönhatás) a 2D szimuláció enyhén felülbecsli a 3D-hez képest. Füstös Vivien 2018-as kutatása (a 2D és 3D eljárások ökohidraulikai szempontú összehasonlítása) alapján hosszabb folyószakaszok élőhely-hidraulikai vizsgálatainál elfogadható kompromisszum a 2D leírásmód, amivel egy modellterület hossza több száz kilométert is lefedhet, vagyis egy szimulációs modellel nagy kiterjedésű, de mégis mezoléptékű elemzések hajthatók végre. Jelen tanulmány erre mutat példát. A felső-magyarországi Duna-szakaszon hajtottunk végre élőhely-értékelést három hazai halfaj szempontjából, négy vízjárási állapotban, kétdimenziós hidrodinamikai modellek eredményeire alapozva.

Anyag és módszer

A kutatás hatáskörébe tartozó tartomány a Duna magyar-szlovák határt képző szakaszának egy része, Szaptól (Sap) Szobig, ami az 1811–1708 folyamkilométerek között helyezkedik el és az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság alá tartozik. A folyam szélessége tág határok között alakul, helyenként a szigetekkel, öblözetekkel együtt akár az 1000 m-t is eléri, de legkeskenyebb részein sem keskenyebb 400 m-nél. Számos áramlásszabályozó vízpépítési műtárgy (vezetómű és sarkantyú) található a területen, melyek az effektív vízszállító keresztmetszetben, és ezáltal az áramlási sebességekben alkalmanként hirtelen változást idézhetnek elő. A szakaszon a hossz kb. 80%-ában biztosítottak a hajózás geometriai feltételei (minimum 2,7 m-es vízmélység 150 m szélességben), összesen 8 gázlót és ugyanennyi szűkületet azonosítottak a VITUKI (Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet) Duna hajózhatósági projekt megalapozó, 2007-es tanulmányában. A 2013-as Joint Danube Survey zárójelentése szerint a főmeder anyagának szemösszetétele folyamatos átmenetet mutat a kavics és a durva homok között. Az átlagos hosszirányú mederesés 7 cm/km. A terület mérete miatt az eredményeket csak egy kiragadott részleten, a Neszmély melletti rövid szakaszon mutatjuk be, amely hidrodinamikai és morfológiai szempontból jól reprezentálja a teljes vizsgált szakaszt. A vizsgált területet mutatja az 1. ábra.



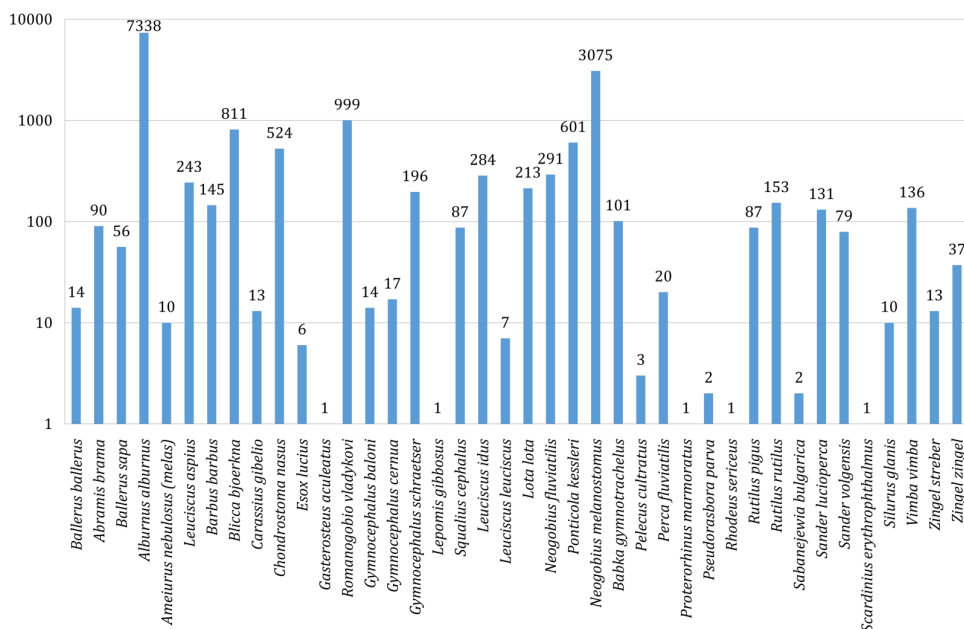
1. ábra. A vizsgált folyószakasz (piros vonalak között) és a neszmélyi részlet (piros téglalapban)

Fig. 1. The examined reach (between red lines) and the short reach at Neszmély (in a red rectangle)

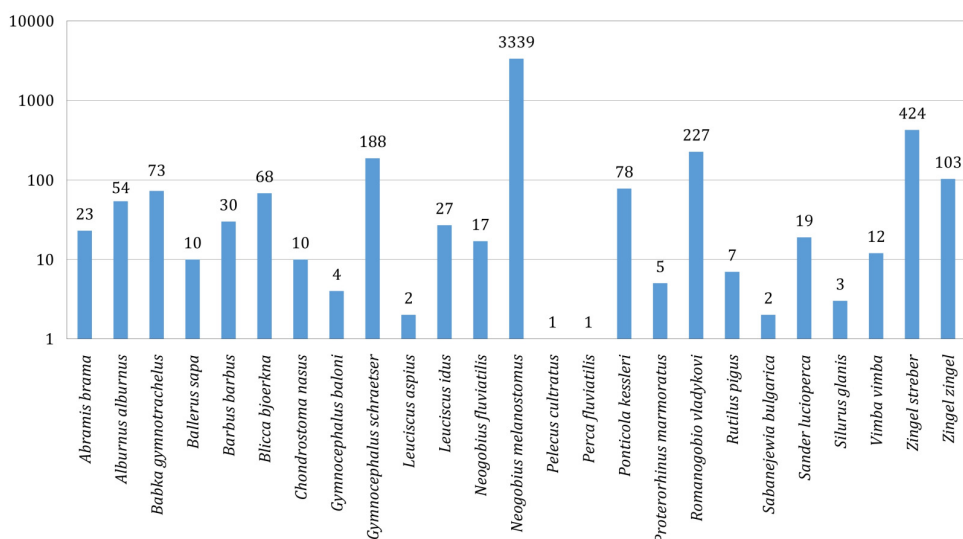
A vizsgált terület halállományára korábbi kutatások (Erős et al. 2008, Erős et al. 2017, Szalóky et al. 2014) tárgyszakaszra vonatkozó adatait feldolgozva nyújtunk becslést. Ezek során (jellemzően kis- és középvízi állapotban) part menti és mélyvízi mintavétel egyaránt történt, ami egymást kiegészítve jó térbeli lefedettséget biztosít. A part menti zónában a küsz (*Alburnus alburnus*) és a kerekfejű géb rendelkezett a legtömegesebb állománnyal, míg a halványfoltú küllő (*Romanogobio vladykovi*), a karikakeszeg (*Blicca bjoerkna*) és a Kessler-géb (*Ponticola kessleri*) szintén számottevő mennyiségben fordult elő. A mélyvízi mintákban lényegesen kevesebb küsz jelent meg, ami egybevág a szakirodalommal, miszerint a faj leggyakrabban a vízfelszín közelében tartózkodik (Harka & Sallai 2004). A kerekfejű géb itt igen kiugró mennyiségben volt jelen, míg a sorban következő német bucóból, halványfoltú küllőből, selymes durbincsből (*Gymnocephalus schraetser*) és magyar bucóból (*Zingel zingel*) fajokként egy nagyságrenddel kevesebb egyedet gyűjtöttek. A part menti és mélyvízi gyűjtés egyedszámait a 2. és 3. ábrán láthatóak.

Baranya és mtsi. (2018) módszere alapján a 3D helyett 2D hidrodinamikai szimulációval állítottunk elő hidromorfológiai paramétermezőket a vizsgált szakaszra, négy mértékadó hidrológiai állapotban (kisvízi, középvízi, nagyvízi és 100 éves visszatérési idejű árvízi (1.

táblázat)). A modellezett változók a vízmélység, a mélységátlagolt áramlási sebesség és a mederanyag voltak, mely utóbbit a fenék-csúsztatófeszültségen keresztül határoztuk meg, a tanulmányukban ismertetett terepi mérésekre és numerikus modellezésre alapuló eljárás alapján. A mederanyag-összetétel végül 3 fő kategóriában csoportosult: iszapos homok (2 mm-nél kisebb szemcseméret), kavics (2-8 mm közötti szemcseméret), durva kavics (8 mm-nél nagyobb szemcseméret).



2. ábra. A part menti felmérés során gyűjtött halfajok egyedszámai
Fig. 2. Number of individuals by the littoral sampling



3. ábra. A mélyvízi felmérés során gyűjtött halfajok egyedszámai
Fig. 3. Number of individuals by the benthic sampling

A hidrodinamikai szimulációt az Adaptive Hydraulics Modeling System (AdH) szoftver 2D moduljával hajtottuk végre (URL 1). A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének közreműködésével készültek a Duna nagyvízi mederkezelési tervei (URL 2), az ehhez készített, tárgyszakaszra vonatkozó rácshálókat rendelkezésünkre bocsátották. A modelltartomány az 1809,6 fkm-szelvénytől 1697,5 fkm-szelvényig tart, vagyis alvízi irányban túlnyúlik a vizsgált szakaszon, a Dömösi-szűkület (az alvízi perem előtt) ugyanis erős visszahatással van a megelőző szakaszra, melyet nem szabad figyelmen kívül hagyni. A nagyobb hozzáfolyásokat (Mosoni-Duna, Vág, Garam, Ipoly) tartalmazza, a kisebbeket (Concópatak, Által-ér, Bakony-ér stb.) elhanyagoltuk. A végleges számítási rácsháló ~200 ezer számítási cellából és ~100 ezer rácspontból állt. A nagyvízi mederkezelési tervben bemutatták, hogy a Duna esetében nincs érdemi különbség az árvízi modell időben változó, vagy permanens futtatása között, ezért a számítási idő csökkentése végett permanens leírással éltünk (azaz a peremfeltételeket időben állandónak tekintettük, és az ennek hatására beálló egyensúlyi állapotot modelleztük). Az ezekhez alkalmazott peremfeltételeket az 1. táblázat szemlélteti (Q1% – 100 éves visszatérési idejű árvíz, a továbbiakban árvíz; KV, KÖV, NV – kis-, közép- és nagyvízi állapot). Az értékeket több forrásra támaszkodva: a nagyvízi mederkezelési tervek 02-04 dokumentumainak 4. (a hidrodinamikai modellezésről szóló) fejezetei; a MÁSZ felülvizsgálatáról szóló kutatási jelentés; valamint a Mosoni-Dunához tervezett torkolati mű modellvizsgálata alapján határoztuk meg.

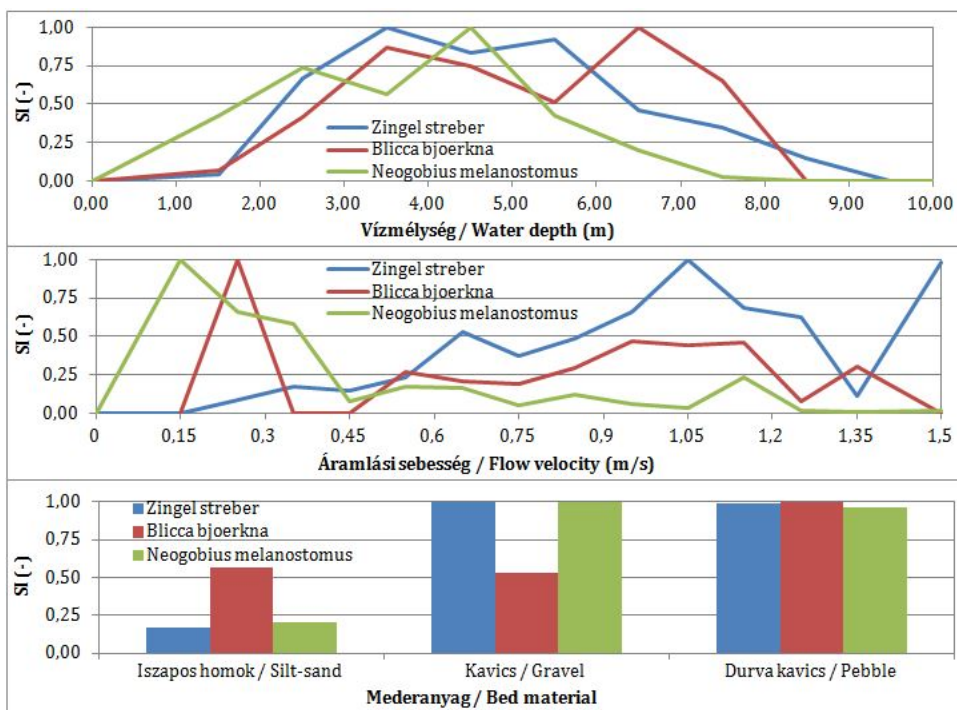
1. táblázat. A hidrodinamikai szimulációban alkalmazott peremfeltételek
Table 1. Boundary conditions used in the hydro-dynamical computation

Peremfeltételek/ Boundary conditions		Q1%	KV	KÖV	NV
Vízhozam/Flow (m ³ /s)	Duna (be/in)	10282	800	2200	7910
	Mosoni-Duna	-336	31	71	401
	Vág	158	3	40	90
	Garam	135	7	30	50
	Ipoly	100	3	10	25
Vízszint/Water level (m B.f./m a.s.l.)	Duna (ki/out)	107,67	99,63	101,31	106,14

A három vizsgált halfaj, a német bucó, a kerekfejű géb és a karikakeszeg, jellegüket tekintve jól reprezentálják a magyar vizek állományát: a bucó endemikus és fokozottan védett, a géb inváziós faj, a keszeg pedig gazdasági jelentőséggel rendelkezik. Előbbi kettőnek Baranya és mtsi. (2018) határozták meg a preferenciáit, ezeket átvettük, a karikakeszeg SI értékeit pedig jelen kutatás során, Erős és mtsi. (2008, 2017) és Szalóky és mtsi. (2014) adatai alapján állítottuk elő. A mérési adatsor tartalmazta az egyes mintavételek alkalmával gyűjtött egyedszámot, a mérési helyen feljegyzett átlagos vízmélységet, átlagos áramlási sebességet, továbbá (már előfeldolgozott adatként) a mederanyag-mintavétel főkomponens-analíziséből származtatott 3 főkomponenst. Tapasztalat szerint az első főkomponens mutat erős korrelációt az átlagos szemcsemérettel, így ez alkalmazható a mederanyag fentebb felsorolt 3 kategóriába sorolására. A preferencia meghatározása statisztikai analízis segítségével történik: az egyes változók felmért spektrumát intervallumokra vagy kategóriákra osztva tartományonként arányosítjuk az ottani egyedek és az oda tartozó mintavételi helyek százalékos előfordulását, majd az értékeket normáljuk. Így adódnak az egyes tartományok SI értékei, a teljes spektrumra pedig az SI függvény (4. ábra). Ezen jól megmutatkoznak bizonyos, szakirodalomban is fellelhető jellemzők: a német bucó kerüli az üledékes, feltöltődött folyószakaszokat, illetve áramláskedvelő faj; továbbá a karikakeszeg többnyire a mélyebb, míg a kerekfejű géb inkább a sekélyebb vizekben található meg (Harka & Sallai 2004).

A hidrodinamikai eredményező, valamint az SI függvény kombinációjából készíthető az élőhelytérkép, mely megmutatja egy adott faj egy adott hidrodinamikai változóra értelmezett preferenciaeloszlását. A három abiotikus tényező eredményeire illesztett élőhely-megfelelőségi mező számtani átlaga adja az összesített SI mezőt. Nincs tudásunk

arról, hogy a valóságban mely paraméter milyen súllyal rendelkezik az összevonásnál, így a számtani átlag egy kompromisszum. A megfeleléségi mezőket érték szerint négy kategóriára osztottuk: „rossz” ($SI < 0,25$, vörös), „elégséges” ($0,25 < SI < 0,5$, narancssárga), „megfelelő” ($0,5 < SI < 0,75$, citromsárga) és „kiválóan megfelelő” ($0,75 < SI$, zöld) osztályzatokat alkottunk az élőhely-jellemzéshez.



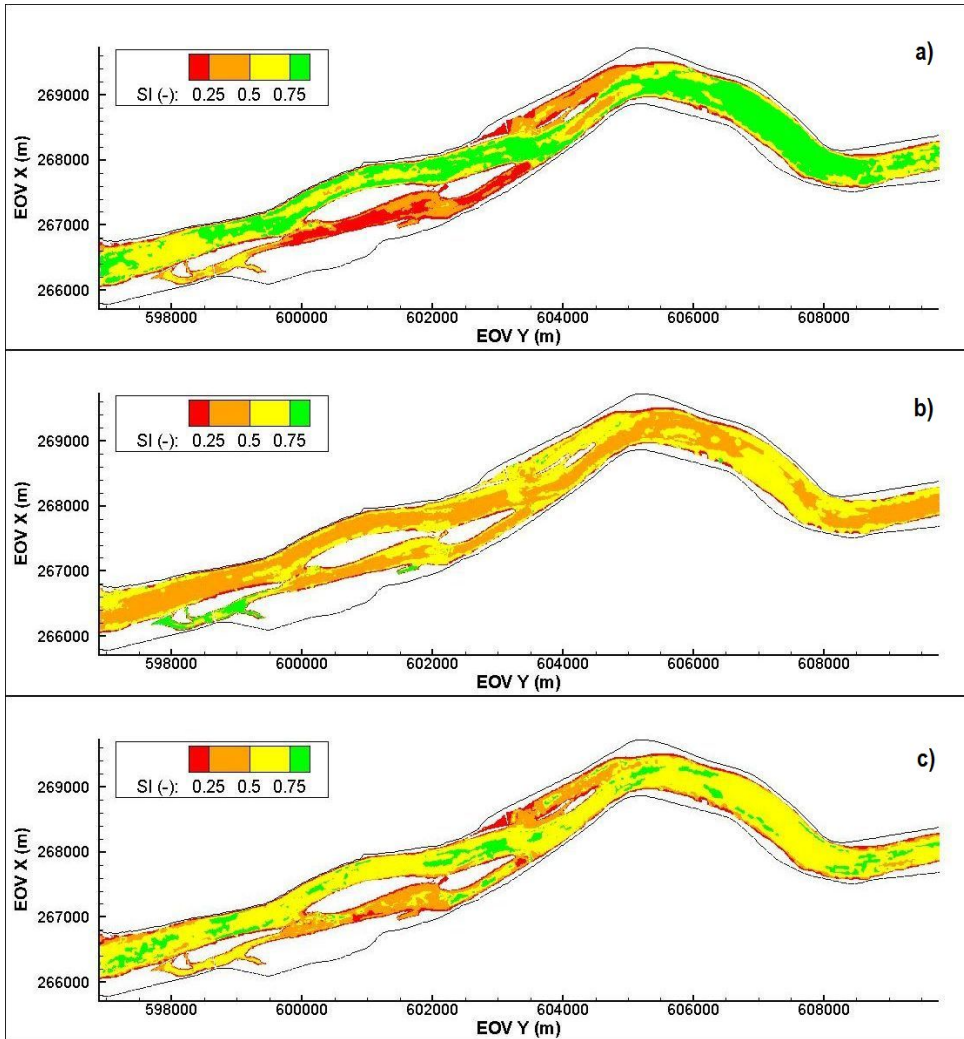
4. ábra. A vizsgált halfajok vízmélységre, áramlási sebességre és mederanyagra vonatkozó SI függvényei
Fig. 4. The SI functions of the researched species for water depth, flow velocity and bed material

Eredmények

Az 5. ábra a kis-, nagy- és árvízi állapottal szemben általánosnak mondható középvízi állapotban mutatja be (az összevetést könnyítendő egymás alatt) rendre a: a német bucó, b: a kerekfejű gób és c: a karikakeszeg megfeleléségi térképét a neszemlyi rövidebb szakaszra. A preferenciafüggvényeken látható, hogy a vizsgálati területen leggyakoribb előfordulású durva kavics mindhárom halfajnak kiválóan megfelelő aljzatot biztosít; tehát az ábrán látható, fajok közti különbségeket inkább a vízmélységre és legfőképpen az áramlási sebességre vonatkozó eltérő preferenciagörbék okozzák. A bucónak egyértelműen a főmeder nyújt kedvezőbb körülményeket a mellékágakkal szemben, a mederanyag és az áramlási sebességek okán is. A gób és a keszeg esetében ez nem különül el ilyen élesen. A gób az aránylag lassú áramlási viszonyokat kedveli, ilyenformán számára a sodorvonal és a szűkületek inkább csak elégséges, a parti sávok megfelelő élőhelyet jelentenek (azonban ismert, hogy fenéklakó, a főmeder alján pedig a sebesség mélység menti változásával még a sodorvonalban is alacsonyabb értékek adódhatnak). A keszeg térképe igen hasonló a bucóéhoz, annál kissé kiegyenlítettebb, a mellékágak kevésbé, a főmeder inkább megfelelő, szélsőségek csekély mértékben fordulnak elő.

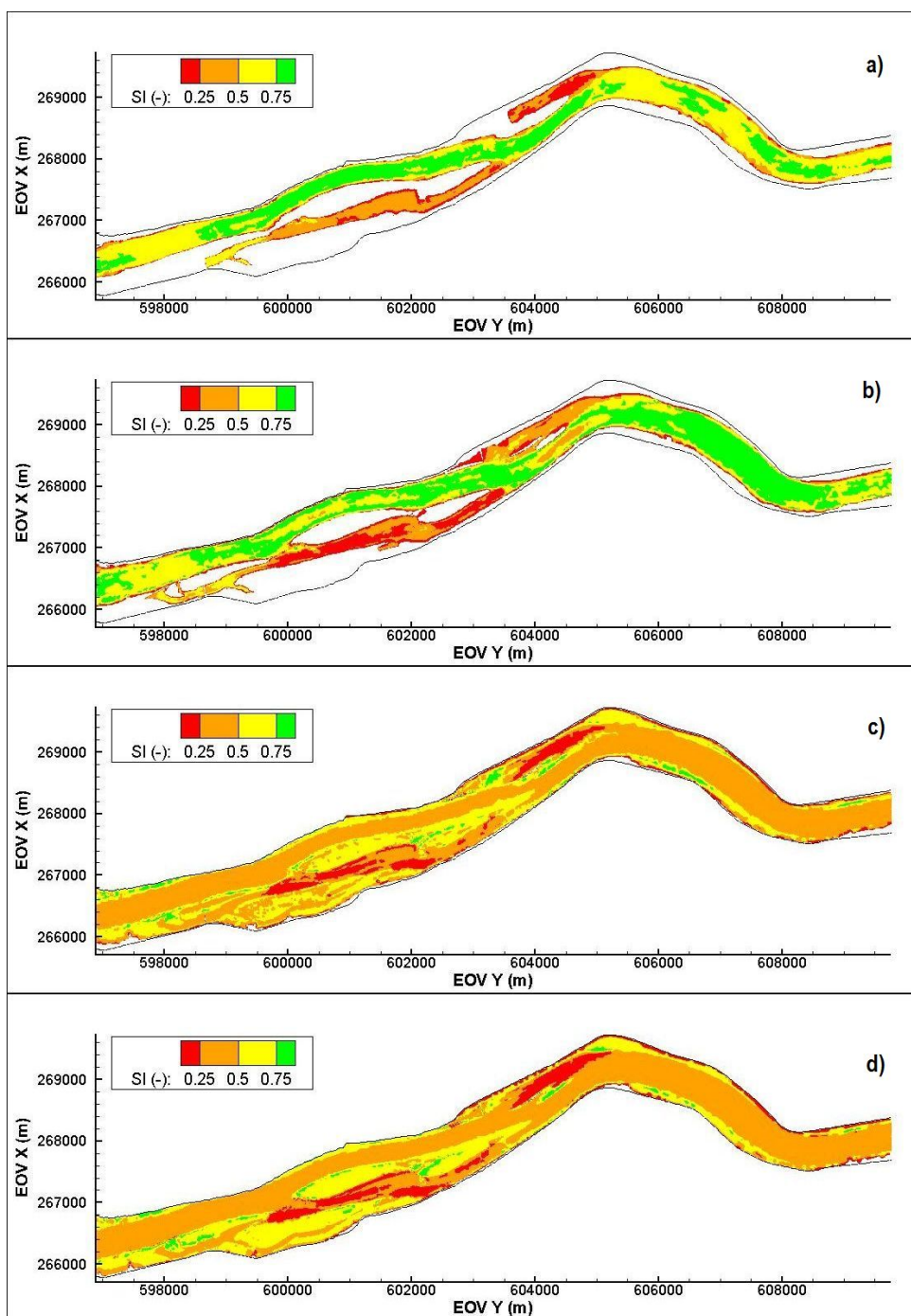
A 6. ábra a német bucó neszemlyi élőhely-megfeleléségi térképeit mutatja a: kisvízi, b: középvízi, c: nagyvízi és d: árvízi állapotban. Fontos, hogy a nagy- és árvízi állapotban értelmezett térképek erős bizonytalansággal terheltek, mivel a statisztika alapjául szolgáló adatok kis- és középvízi állapotból származnak, vagyis értelmezési tartományuk nem terjed ki ilyen vízjárási körülményekre. Az itt kapott gyengébb megfeleléségi értékek tehát nem a

preferenciából adódnak. A bucó SI függvényein a vízmélység növekedéséhez egyre alacsonyabb, míg a sebesség növekedéséhez (egy bizonyos mértékig) pont fordítva, egyre magasabb megfelelési érték tartozik, ami következményeként nincs számottevően nagy különbség a kis- és középvízi (6a és 6b ábrarész) térkép között, ugyanez igaz a nagy- és árvízi állapot hullámtéri területeire (6c és 6d ábrarész). A közép-nagyvízi állapotváltás erősen lerontja az élőhely-megfelelőséget, ez azonban nem feltétlenül csak az alacsony SI értékek következménye, hanem a paraméterek is kiléphetnek az értelmezési tartományból.



5. ábra. A német bucó (a), a kerekfejű géb (b) és a karikakeszeg (c) összesített élőhely-megfelelési térképei a neszmélyi szakaszra középvízi állapotban

Fig. 5. Aggregated habitat suitability maps of the Danube streber (a), the round goby (b) and the white bream (c) at the Neszmély reach by mean water level



6. ábra. A német bucó összetett élőhely-megfelelőségi térképei a neszmélyi szakaszra kis- (a), közép- (b), nagy- (c) és árvízi (d) állapotban

Fig. 6. Aggregated habitat suitability maps of the Danube streber at the Neszmély reach by low (a), mean (b), high (c) and flooded (d) water level

Értékelés

Munkánk legfontosabb eredményei a karikakeszeg preferenciái, illetve a létrehozott élőhely-megfelelőségi térképek a három kiválasztott halfajra, a négy mértékadó hidrológiai állapotra külön meghatározva. A megfelelőségi indexek alapján az ábrák színskálájával összhangban négy osztályt (rossz, elégséges, megfelelő, kiválóan megfelelő) definiáltunk az élőhelyek minősítésére. Az elkészített mezők kis- és középvízi állapotra a szükséges pontossággal mutatják be a fajok vizsgált paraméterekből származtatott élőhelykategóriáit. A nagy- és árvízi állapotokra a becslés bizonytalanabb, mivel a minősítés alapjául szolgáló statisztika adatai kis- és középvízi állapotból származnak. Eredményeink szerint a vizsgálati területen leggyakoribb előfordulását durva kavics mindhárom halfajnak kiválóan megfelelő aljzatot biztosít, a döntő paraméterek inkább a vízmélység és legfőképpen az áramlási sebesség voltak.

Fontos megjegyezni, hogy a fenti három abiotikus paraméter csupán néhány azok közül, amelyek a halak élőhelyválasztását befolyásolhatják. A jelen munkában bemutatott módszer eredményei értelemszerűen hordoznak magukban némi bizonytalanságot, különösen akkor, ha tisztán biológiai céllal, csak a halfajok előfordulásának leírására kívánjuk azokat felhasználni. Az eljárás véleményünk szerint olyan feladatkörökben alkalmazható kellően nagy biztonsággal, ahol elfogadható az egyéb paraméterek elhanyagolása. Ilyen lehet például bizonyos vízépítési beavatkozások élőhelyekre gyakorolt hatásának vizsgálata, ahol (pl. egy sarkantyú vagy vezetómű esetében) feltételezhetjük, hogy a leendő műtárgy hidrodinamikai viszonyokra gyakorolt hatása számottevőbb, mint pl. a vízminőségre (pl. oldott oxigén, lebegőanyag, tápanyag stb.). Ekkor a meglévő és tervezett állapotok számítógépes modellezése és az eredményeken alapuló élőhely-osztályozás, illetve annak megváltozása kifejezetten jól közelítheti a valós viszonyokat, emiatt rendkívül jól alkalmazható döntéstámogató eszközként.

A halgyűjtés időpontja több szempontból is meghatározó tényező. Egyrészt jellemző, hogy a halak az íváshoz más jellegű területet, ívási szubsztrátot keresnek, ami ívási időszakban esetleg vándorlást okozhat. A keszeg és a bucó tavasszal, a géb tavasztól nyár végéig ívik (Harka & Sallai 2004), tehát a döntően nyáron, kisebb mértékben ősszel és tavasszal végrehajtott mérésorozat bizonyos része beleesett az egyes fajok szaporodási időszakába. Másrészt nagyvízi állapotban, megnövekedett vízmélységek, sebességek esetén, különösen, ha a víz kilép a mederből, változik az optimális élettér, illetve az egyes paraméterek eltérő súllyal játszhathatnak közre ennek megválasztásában. Jövőbeli, a témához kapcsolódó kutatási terület lehet ezeknek a súlyoknak a becslése, meghatározása. A felhasznált adatok kis- és középvízi állapotból származnak, ilyenformán az abiotikus paraméterek skálája (értelmezési tartománya) rövidebb annál, mint ami nagy- vagy árvízi állapotban előfordulhat: következésképpen a meglévő adatok birtokában csak igen kis biztonsággal tehetünk megállapításokat a halak nagyvízi viselkedésére, illetve a nagyvízi állapot kialakulása során az éppen változó körülményekre adott válaszaikra.

A halak számára a víz (folyó, tó) a kizárólagos közeg, mely közegnek bármilyen megváltozására reagálnak. Mindenkor törekednek a víz által biztosított környezeten belüli optimális tartózkodási hely megtalálására, ami azonban nem feltétlenül sikerül, mivel létezhet olyan vízjárási állapot, amikor az optimum nem áll elő. Előfordulhat továbbá az is, hogy a vizsgált szakaszon megjelenik az adott faj számára optimális élőhelytípus, azt azonban a hal számára rossz minőségű élőhely határolja, keríti be, így az egyedek nem találják meg. A különböző élőhelyek, élőhelytípusok mozaikossága, valamint az azok közötti kapcsolatok és átjárhatóságok vizsgálata további fontos kutatási témaként jelentkezik az élőhelyhidraulika egyre bővülő területén.

Kutatásunk bizonyos helyzetek (a halgyűjtések alkalmi) pillanatképei alapján igyekszik feltárni a vizsgált halfajok preferenciáit. Az évszakok, vízhőmérsékletek és a folyó egyéb változásainak (pl. vízjárási állapot) megfelelő, aktuális élettérre jellemző további paraméterek vizsgálata számottevő időleköttéssel jár, és jelentős anyagi forrást igényel, ezért jelen munkának nem lehetett célja ezek részletes feltérképezése.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondunk a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének a számítási rácsháloért.

Irodalom

- Aadland, L. P., Kuitunen, A. (2006): *Habitat suitability criteria for stream fishes and mussels of Minnesota*. Minnesota Department of Natural Resources, Division of Fish and Wildlife, Fisheries Management Section [and] Division of Ecological Services.
https://files.dnr.state.mn.us/publications/fisheries/special_reports/162.pdf
- Ban, X., Du, H., Wei, Q. (2013): Fish preference for hydraulic habitat in typical middle reaches of Yangtze River, China. *Journal of Applied Ichthyology*, 29: 1408–1415.
- Baranya S., Fleit G., Józsa J., Szalóky Z., Tóth B., Czeglédi I., Erős T. (2018): Habitat mapping of riverine fish by means of hydromorphological tools. *Ecohydrology* 11: 1–13.
- Erős T., Tóth B., Sevcsik A. (2008): A halállomány összetétele és a halfajok élőhely használata a Duna litorális zónájában (1786–1665 fkm) – monitorozás és természetvédelmi javaslatok. *Halászat* 101: 114–123.
- Erős T., Bammer V., György Á. I., Pehlivanov, L., Schabuss, M., Zornig, H., Weiperth A., Szalóky Z. (2017): Typology of a Great River Using Fish Assemblages: Implications for the Bioassessment of the Danube River. *River Research and Application* 33: 37–49.
- Glock, K., Tritthart, M., Habersack, H., Hauer, C. (2019): Comparison of Hydrodynamics Simulated by 1D, 2D and 3D Models Focusing on Bed Shear Stresses. *Water* 11: 1–19.
- Habersack, H., Tritthart, M., Liedermann, M., Hauer, C. (2014): Efficiency and uncertainties in micro- and mesoscale habitat modelling in large rivers. *Hydrobiologia* 729: 33–48.
- Harby, A., Martinez-Capel, F., Lamouroux, N. (2017): From Microhabitat Ecohydraulics to an Improved Management of River Catchments: Bridging the gap Between Scales. *River Research and Applications* 33: 189–191.
- Harka Á., Sallai Z. (2004): *Magyarország halfaunája. Képes határozó és elterjedési tájékoztató*. Nimfea Természetvédelmi Egyesület, Szarvas.
- Hauer, C., Mandlbauer, G., Habersack, H. (2008): Hydraulically related hydro-morphological units: description based on a new conceptual mesohabitat evaluation model (MEM) using LiDAR data as geometric input. *River Research and Applications* 25: 29–47.
- Hauer, C., Unfer, G., Tritthart, M., Formann, E., Habersack, H. (2011): Variability of mesohabitat characteristics in riffle-pool reaches: Testing an integrative evaluation concept (FGC) for MEM-application. *River Research and Applications* 27: 403–430.
- Huybrechts, N., Villaret, C., Hervouet, J.-M. (2010): *Comparison between 2D and 3D modelling of sediment transport: application to the dune evolution*. pp. 887–893. In: International Conference on Fluvial Hydraulics, Braunschweig, Germany.
- Kasvi, E., Alho, P., Lotsari, E., Wang, Y., Kukko, A., Hyppä, H., Hyppä, J. (2014): Two-dimensional and three-dimensional computational models in hydrodynamic and morphodynamic reconstructions of a river bend: sensitivity and functionality. *Hydrological Processes* 29: 1604–1629.
- Knehtl, M., Petkovska, V., Urbanič, G. (2018): Is it time to eliminate field surveys from hydromorphological assessments of rivers?—Comparison between a field survey and a remote sensing approach. *Ecohydrology* 11: 1–12.
- Lane, S. N., Bradbrook, K. F., Richards, K. S., Biron, P. A., Roy, A. G. (1999): The application of computational fluid dynamics to natural river channels: three-dimensional versus two-dimensional approaches. *Geomorphology* 29: 1–20.
- Lauchlan Arrowsmith, C.S., Zhu, Y. (2014): *Comparison between 2D and 3D hydraulic modelling approaches for simulation of vertical slot fishways*. pp. 1–9. In: 5th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, Brisbane, Australia.
- Maddock, I., Harby, A., Kemp, P., Wood, P. (2013): Ecohydraulics: an introduction. pp. 1–6. In: Wilkes, M., Maddock, I., Visser, F., Acreman, M. (eds.): *Ecohydraulics: An Integrated Approach*, Wiley-Blackwell, Chichester.
- Mays, L. W. (2008): A very brief history of hydraulic technology during antiquity. *Environ Fluid Mechanics* 8: 471–484.
- Szalóky, Z., György, Á. I., Tóth, B., Sevcsik, A., Specziár, A., Csányi, B., Szekeres, J., Erős, T. (2014): Application of an electrified benthic frame trawl for sampling fish in a very large European river (the Danube River) – Is offshore monitoring necessary? *Fisheries Research* 151: 12–19.
- Zajicek, P., Wolter, C. (2018): The gain of additional sampling methods for the fish-based assessment of large rivers. *Fisheries Research* 197: 15–24.

URL 1: https://chl.erdc.dren.mil/adh/documentation/AdH_Manual_Hydrodynamic-Version4.6.pdf

URL 2: <http://extranet.eduvizig.hu/nmkt/>

Authors:

Vivien FÜSTÖS (fustos.vivien@epito.bme.hu), Sándor BARANYA, Gábor FLEIT, Tibor ERŐS, Zoltán SZALÓKY, Balázs TÓTH, János JÓZSA